小特集：最新のエッチング技術とモノづくり

ウェットブラストによる物理エッチング

小 方 雅 淑*

*マコー(株)(〒940-2032 新潟県長岡市石動町字金輪 525)

Physical Etching by the Wet Blasting

Masayoshi OGATA*

*Macoho Co., Ltd. (525 Kanawa, Isurugi-machi, Nagaoka-shi, Niigata 940-2032)

Keywords: Wet Blast, Nozzle, Physical Etching

1. はじめに

ブラスト加工とは、粒子状の研磨材を投射してバリ取り、研掃、表面粗化などを行う遊離砥粒加工のひとつで、ガラス工芸品の模様付けなどで一般にも知られている。ブラスト工法には研磨材のみを高速で投射する乾式法と、水と研磨材を混合したスラリーを投射する湿式法があり前者をショット、サンドブラスト、後者を液体ホーニング、ウェットブラストなどと呼ぶ。市場での認知、利用状況は乾式の方が圧倒的に多く、機械加工部品のバリ取り、熱処理鋼材のスケール除去、各種金型の研掃など機械、金属の製造現場で多用途に利用されているほか先に述べたガラス模様付けなどにも用いられている。

一方、湿式法(以下、ウェットブラスト)は海外より30年ほど前に紹介された技術であるが、加工対象物を濡らしてしまうため処理後の乾燥、材料によっては錆の問題などがあり導入当時は一部の特殊分野で利用されるにすぎなかった。ところが湿式であるがゆえに乾式では実現し得ないいくつかの効果が知られるようになり、乾式とは異なった分野での採用が増えつつある。また乾式と比べ粉塵を発生しにくいという環境面での利点から湿式に切り替えるケースも増えている。

本稿ではウェットブラストの原理、特長から最新の適用分野について紹介する。

2. ウェットブラストの原理

ウェットブラストは水と研磨材を一定比率で混合したスラリーを投射ガンに送り、別経路から導入した圧縮エアでスラリーを加速、被加工物に衝突させて加工を行う。

基本的な装置構成はスラリーを保持するタンクと、スラリーをガンに送り込むポンプ、投射ガン、および加工キャビネットよりなり、ガンから投射されて被加工物に衝突したスラリーは再びタンクに戻る(図1)。ガンより投射される研磨材、水(流体)、圧縮エアの3相はそれぞれ以下の役割を持っている。

2. 1 研磨材

ウェットブラストで用いる研磨材も基本的には乾式のそれと同様セラミック、ガラス、樹脂などを用いそれぞれの加工目的に応じて選択する。たとえばバリ取り、表面粗化など表面を削り取る加工では高硬度の多角形粒子であるアラシダム、カーボラシダム。金属表面を叩いて硬度、機械強度を向上させるピーニング加工では球状のガラス、セラミックなど。また、軽微な洗浄や部品本体にダメージを与えることなくバリを除去したい、といった場面では球状、または不定形の樹脂粒子を用いる。

乾式法は目的、方式によっては数ミリ単位の粒子径まで利用できるが、ウェットブラストはタンク内でスラリーをかく拌、粒子を分散させているため、あまり大きな粒子の利用は不得手でせいぜい数百 μm までである。粒子径は必要とする加工量、面粗度、面性状、ワークへのダメージなどを考慮して選定する。水に投入する研磨材の適正量は研磨材や投射の方法によって多少異なるが概ね15~25 Vol. %とする。これ以下だと粒子数が少なく加工効率が低く、逆にこれ以上だと粒子同士の衝突やエネルギー効率の低下などで、やはり加工効率は低下する。

2. 2 圧縮エア

乾式法では粒子を加速する手段として圧縮エアを用いる方法と、機械的に羽根車の遠心力で加速するインペラー方式があり、ウェットブラストにもインペラー方式はあるが、水

図1 ウェットブラストの基本的な装置構成

が緩衝材の作用をして効率が悪くなるので、ほとんどは圧縮エアによる加速を利用している。0.2～0.4 MPaの圧縮エアで加速されたスラリーは30～80 m/sの速度で被加工物に衝突、加工を行う。エア圧力は高いほど加工力は大きくなるが反面、投射した粒子の破碎が進み、圧縮エアの消費も多くなるためランニングコストに影響する。

また、ウエットブラストにおける圧縮エアのもうひとつの役割は投射した水(流体)を霧化することにより、霧状になることで被加工物表面に局所的に過大な衝撃を与えることなくソフト、かつ均一な加工を行う。

2. 3 水(流体)

スラリーに使用する流体には水を用い、被加工物に応じて防錆剤、脱脂剤などを添加する。ウエットブラストにおける水の役割は第一に粒子の運び屋となることである。先に大きな径の粒子は不得手と述べたが、ウエットでは水が研磨材を被加工物表面まで運んでくれるため従来の乾式法では空気抵抗により投射困難とされた10 μm 以下の微細粒子でも加工が可能で、実際のアプリケーションでも平均粒子径7 μm 、JIS呼称# 2000の粒子が使われている場面も多い。

第二の役割はワークの洗浄効果で、研磨材と水が同時に被加工物に衝突した後、研磨材によって削り取られた微小切粉と粒子自身が瞬時に洗い流され、排出されるためブラスト加工で懸念される粒子の埋め込み残留が極めて少ない。

そのほか液体を使う効果として、湿式雰囲気のためスラリーのミストは発生するが研磨材や加工粉などの粉塵の発生が少なく、作業環境的に好ましい。アルミ、マグネシウムのブラスト加工で問題となる粉塵爆発の危険性がない、などが挙げられる。

3. ウエットブラストの効果、適用分野

粒子、液体、圧縮エアの3相流を利用したウエットブラストの具体的な効果と適用例について紹介する。

3. 1 微細バリ取り

一般にブラスト加工は金属、樹脂部品の成形、機械加工時に発生するバリの除去に用いられる。ウエットブラストは微細な研磨材が利用できる特長を生かして乾式のブラストよりも微細なバリの除去や、バリ以外の部分にダメージを与えない、たとえば樹脂封入された電子部品のリード部分に付着するフラッシュバリの除去などに利用されている。

3. 2 研削、研磨、はく離

砥石を用いた研磨が固定砥粒加工であるのに対してブラストは遊離砥粒加工であり、粒子に与えられた運動エネルギーのみで加工を行う。粒子質量以外の力が加わらないのでスクラッチキズなどの異常な加工痕を残さず、金属の加工面は研磨材形状を転写した無方向の梨地面となる。また、曲面や段差のある三次元形状面も面に倣って全面加工できる。さらに機械的な研磨と異なり加工による熱が発生しないので、加工表面に熱変質を起こすことがない。

鍛造部品のスケール除去、各種材料の熱処理後の変質層、酸化膜の除去、リサイクルやリワーク目的でのめっき、塗装膜のはく離などに利用されている。

3. 3 洗 浄

工業洗浄の分野では溶剤、界面活性剤などに被洗浄物を浸漬して超音波を照射したりシャワーを用いて汚染を除去する方法が一般的であるが、こうした化学的な方法ではオイル、グリースなど重度な汚染は除去が難しい。また、多種の材料より構成する電子部品はそれぞれの材質と薬品の適/不適があるためアタックの強い薬品が使えない、多槽の複雑な洗浄プロセスが必要、など課題が多い。

粒子を用いた洗浄は歯磨き粉やクレンザーの名称で知られる台所用洗剤で古くから用いられ、洗剤中に含まれる数十 μm の粒子が錆や焦げ付きなど活性剤では除去できない不溶性の汚れを削り取る。

ウエットブラストによる洗浄作用もこれに近く、圧縮エアで加速された粒子が被洗浄物表面に衝突し、汚れを削り取っていく。そして表面から引き剥がされた汚れは瞬時に水によって洗い流され洗浄表面から除去される。擦る、削るといった物理的な作用による洗浄であるため、材質に依存することなく、研磨材の選択により軽微な汚染から重度の汚染まで適用が可能である。マクロ的にはウエットブラストの効果がもっとも顕著に現れる処理である(図2)。

3. 4 面粗度、表面性状調整

ブラスト加工は金属などの塑性材料に対して、表面を削りながら粒子形状を転写していくため、使用する研磨材の粒度、圧縮エア圧の調整により任意の面粗さを形成することができる。こうした性質を利用して部品接合面の接着強度を向上させるアンカー効果処理、光学部品の反射率を調整する防眩処理ほか広い範囲で面粗度調整に用いられている。また、球

図2 ウエットブラストによる基板洗浄例

状の粒子を利用して金属を処理すると、仕上がりによっては高級感のある半光沢の表面が得られ、家電機器の美装処理としても利用されている。

4. 特殊形状ガン

一般に乾式で圧縮エアを用いるプラスト加工では丸い口径を持ったノズルの先端から研磨材を噴射して加工を行う。これに対してウエットプラストは、これまで述べた通り流体として扱うことができるので投射ノズルの形状は自由で、必要であればシャワーノズルのような形状も可能である。

弊社で製品化しているノズルの一例を紹介する。

4. 1 幅広ガン

今回紹介するアプリケーションで最も重要な要素となるガンノズルでスリット形状を持ち被加工物の大きさ、加工目的に応じて長さ30~600mm スリット幅1~2.5mmのサイズバリエーションがある。図3に示すガンは250mmタイプである。このガンに導入されたスラリーと圧縮エアは内部でミキシングされた後、ノズルからカーテン状に噴射する。このとき噴射するスラリーの下で被加工物を移動、もしくはガンを移動させることによって面加工することができる。

従来の丸い開口を持ったノズルは図4に示すように中心部分の圧力が最も高く、これを動かしても線状にしか加工できないため、同様の面加工を行うにはガンをX、Y方向に移動させるか、ガンを多数本平行に配置することになる。ところがこうした加工方法では必ず重ね打ちとそうでない部分が混在することになり、加工面全域で均一な加工量を保障することはできない。

4. 2 ピンポイント処理用ガン

乾式のプラスト加工では、ノズルから投射された瞬間エアが大気開放されるために投射パターンがすぐに広がってしまうが、ウエットは水の直進性により乾式ほど広がることはない。こうした性質を利用して弊社では1mm²から数種類の角型開口ガンをラインナップしている。

プラストアプリケーションの中には処理部位以外は粒子を当てたくないといった要求も多く、厳密に見切りが必要な場合を除けばこのガンを用いてマスクレスでピンポイント処理を行うことができる。

図3 ウエットプラストの投射ガンの一例(幅広ガン)

5. ウエットプラストによるエッチング加工

これまで述べてきたように、さまざまな適用事例を持つウエットプラストであるが、本工法の特徴を最も生かした事例がプラストエッチング工法である。

5. 1 プラストエッチング

エッチングは化学薬品の腐食作用を利用して金属の表面処理を行う工法で、めっきなどの前処理や半導体の回路パターン形成、プレスなどでは成型できない薄板の複雑形状成型などに用いられている。表面の汚染や酸化、変質層を寸法にほとんど影響することなく除去できるので、幅広く用いられているがその反面、用いる薬品の有害性、水洗水を含む使用済み液の処理など環境面からはあまり好ましい方法ではない。これに対して、物理的に粒子を衝突させて材料の表層を除去しようとするのがウエットプラストによるエッチングである。

一見、化学的なエッチングに比べてずいぶん荒っぽいように聞こえるが、ウエットプラスト加工では1粒子による加工量は平均して粒子径の1/100~1/200程度であるため仮に平均粒子径10 μ mの粒子が1回ずつ全面に渡ってくまなく衝突したとすると、その加工量は0.01~0.2 μ mとなる。もちろん粒子が当たる、当たらないは確率の問題なので、実際には何度か重ね打ちする条件(処理回数、ガンの移動速度)で加工することにより全面を平均的にエッチングすることができる。

プラストエッチングの利点として、粒子衝突による加工であるため被加工物の材質に依存しない。すなわちエッチングが比較的困難な有機材料や、セラミック系材料でも加工が可能で、材料硬度によりエッチングレートには差が出るものの多種材質で構成する電子回路基盤なども加工できるが、逆に言えば材料毎の選択的なエッチングはできない。また、効果のところでも述べたように、処理表面の粗さをコントロールできる点も大きな要素である。

エッチングの目的のひとつにめっきなど表面処理の前工程として処理膜の生成、密着性の阻害要因となる表面変質層や異種不純物を除去して材料の真性面を露出させる。このとき研磨粒子形状の転写により表面を粗化することによってめっきの場合であれば「アンカー効果」による密着性の向上、化成などの皮膜であればより緻密な膜を形成することができる。

こうしたサブミクロンオーダーでコントロールできる物理エッチングは、先に述べた幅広ガンによる均一加工がなくて

図4 投射圧力分布の違い

図5 ウエットブラストによるフィルム表面処理の例(処理前後の濡れ性)

は実現し得なかった工法で、ガンが通過した表面全域で同等の加工量、表面粗度を実現する。

この幅広ガンによるエッチングで最も効果を発揮した最近の事例が、以下のフィルム表面処理である。

5. 2 フィルム表面処理

各種電子機器の小型化や高機能化にともなう電子部品の高集積化により、ここに用いられる基板が従来のリジッドからフレキシブル基板に移行しつつあり、年々需要が伸びている。ポリイミドに代表されるこれら高分子フィルムは耐屈曲性、耐熱性に優れる反面導電材料である銅箔との密着強度に課題を抱えている。

化学的に安定で薬品によるエッチングが困難なこれら材料に対して、本稿で述べているウエットブラストによるエッチングが非常に有効であることがわかってきた。

フィルム表面に10 μ m前後の粒子を用いてウエットブラストを施すことにより

- 1) 表面の汚れ、変質層などが取り除かれ、密着阻害物質のない面が得られる。
- 2) 表面が粗化されて微細な凹凸を形成し、アンカー効果が得られる。
- 3) 微細な凹凸がフィルム表面の濡れ性を改善し、接着剤の親和性、拡散性を高める(図5)。

などの効果が確認されており、実際に密着性の評価においても良好な結果が得られている。

厚さ数十 μ mのフィルムにブラスト処理を行うと、一般

的な感覚ではフィルムが破れたり、シワになったりする印象があるが、フィルムより幅の広いガンを使って処理をすることによりシワのないきれいな粗化表面を得ることができる。

弊社ではこうした処理をPFE(Physical Fine Etching)と名付け基板から樹脂フィルム、金属箔などの薄物をブラスト、水洗、乾燥までを自動で行う装置を製品化。実績が増えつつある。

6. おわりに

ウエットブラストの微細な研磨材が利用できるという特徴は、一般的なブラスト加工の枠を超えて電子、半導体部品、医療器具まで幅広い分野で利用されているのに加え、展示会やHPからの引き合いでは、今なお「そんな使い方もあるのか」とユーザーに教えて頂くことも多い。ただ、その一方で技術者の中にはブラストと聞いただけで粉塵をイメージし、敬遠する者も多く、これを払拭するための苦勞もあるが、実際に加工する様子を見るとまったく別物という印象を持って頂けると思う。取り扱い上の課題はあるが、原理的にはナノサイズの粒子でも利用が可能で、将来的にはナノ加工分野の一選択肢となる可能性を持った工法である。

(2007-10-31 受理)

文 献

- 1) M. Suwa ; Dry, Wet process blasting and the application, p. 4 (Nikkan Kougyou Shinbun. Ltd., 1974) (in Japanese).